



FR2706038

Biblio

Desc

Claims

Drawing

esp@cenet




Device for measuring a force

Patent Number: FR2706038
Publication date: 1994-12-09
Inventor(s): FELIX RUDOLF
Applicant(s): SUISSE ELECTRONIQUE MICROTECH (CH)
Requested Patent: ☐ [FR2706038](#)
Application Number: FR19930006689 19930602
Priority Number(s): FR19930006689 19930602
IPC Classification: G01P15/125; G01L5/00
EC Classification: [G01P15/125](#)
Equivalents:

Abstract

The accelerometer is of the charge-compensated capacitive type. It is characterised in that it comprises two additional capacitive circuits (12a, 12b) intended to compensate for the effect of the stray capacitances of the accelerometric sensor (2). The two capacitive circuits are each connected by a first side to a mobile electrode (9) of the sensor (2) and, by a second side, to switchable supply means, so that the two capacitive circuits are charged and

discharged in phase opposition with the capacitive sensor. 

Data supplied from the esp@cenet database - 12

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 706 038

②1 N° d'enregistrement national :

93 06689

⑤1 Int Cl⁸ : G 01 P 15/125, G 01 L 5/00

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 02.06.93.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : 09.12.94 Bulletin 94/49.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule.*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : CSEM CENTRE SUISSE
D'ELECTRONIQUE ET DE MICROTECHNIQUE (SA)
Recherche et développement — CH.

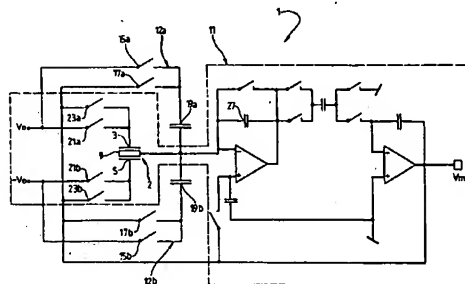
⑦2 Inventeur(s) : Rudolf Felix.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire : Cabinet de Boisse.

⑤4 Dispositif de mesure d'une force.

⑤7 L'accéléromètre est du type capacitif à compensation
de charge. Il est caractérisé en ce qu'il comporte deux cir-
cuits capacitifs (12a, 12b) supplémentaires destinés à com-
penser l'effet des capacités parasites du capteur accéléro-
métrique (2). Les deux circuits capacitifs sont connectés
chacun par un premier côté à l'électrode mobile (9) du cap-
teur (2) et par un deuxième côté à des moyens d'alimenta-
tion commutable, de manière à ce que les deux circuits ca-
pacitifs se chargent et se déchargent en opposition de
phase avec le capteur capacitif.



FR 2 706 038 - A1



DISPOSITIF DE MESURE D'UNE FORCE

La présente invention concerne un dispositif de mesure d'une force telle que par exemple une force d'inertie correspondant à une accélération du dispositif.

Plus précisément, l'invention concerne un tel
5 dispositif de mesure dans lequel la force mesurée agit sur une lame suspendue élastiquement et formant l'une des armatures de deux condensateurs.

On connaît de nombreux dispositifs de mesure correspondant à la définition ci-dessus. Parmi ces
10 dispositifs, l'invention concerne plus particulièrement les dispositifs du type dit "à compensation de charge".

Un tel dispositif de mesure est décrit dans un article paru dans la revue "Sensors and Actuators" A21-A23 (1990), pages 278 à 281 et dont les deux auteurs sont H.
15 Leuthold et l'auteur de la présente invention.

Le dispositif décrit dans ce document antérieur comprend un capteur capacitif dans lequel une lame suspendue élastiquement forme l'armature mobile de deux condensateurs. Ladite lame étant prévue pour se déplacer
20 lorsqu'elle est soumise à une force dont on désire connaître l'intensité, de manière à faire varier les capacités des deux condensateurs. Le dispositif de mesure comprend encore des moyens électroniques pour fournir en sortie une tension qui est fonction des deux capacités et
25 qui est donc représentative de la position de ladite lame mobile. C'est en raison du mode de fonctionnement particulier desdits moyens électroniques, que ledit dispositif est dit "à compensation de charge". Nous allons maintenant décrire ce mode de fonctionnement.

30 La figure 1 représente de façon schématique un exemple de capteur capacitif connu et apte à fonctionner dans le dispositif décrit dans l'article susmentionné. Ce capteur comprend une lame mobile 9 prise en sandwich entre deux électrodes fixes 3 et 5, un espace étant ménagé entre

chacune des électrodes 3,5 et la lame mobile 9 pour permettre à celle-ci de se déplacer sous l'effet d'une force. La première électrode fixe 3 et la lame mobile 9 forment ensemble un premier condensateur de capacité $C(a)$.

5 La lame mobile 9 forme également avec la deuxième électrode fixe 5 un deuxième condensateur de capacité $C(b)$. En position de repos, c'est à dire en l'absence d'une force, la lame mobile 9 se trouve à une même distance d_0 de chacune des électrodes 3 et 5. En supposant

10 que les deux condensateurs se comportent comme des condensateurs plan, on obtient la relation suivante entre le déplacement Δd de la lame mobile 9 hors de sa position d'équilibre sous l'effet d'une force, et les deux capacités $C(a)$ et $C(b)$.

15

$$\frac{\Delta d}{d_0} = \frac{C_{(a)} - C_{(b)}}{C_{(a)} + C_{(b)}}$$

Si l'on place les deux électrodes fixes 3 et 5 du capteur capacitif à deux potentiels différents notés

20 respectivement V_0 et $-V_0$, des charges notées $Q(a)$ et $Q(b)$ respectivement vont s'accumuler dans les armatures des deux condensateurs. La lame mobile 9 jouant à la fois le rôle d'armature pour le premier et le deuxième condensateur, sa première face portera une charge $-Q(a)$

25 alors que sa deuxième face portera simultanément une charge $Q(b)$. La charge totale portée par la lame mobile 9 sera donc égale à $Q(b) - Q(a)$. De plus, la différence entre les charges $Q(a)$ et $Q(b)$ des deux condensateurs dépend du potentiel électrostatique V_m auquel se trouve la lame 9

30 selon la relation:

$$\Delta Q = Q(a) - Q(b) = C(a) (V_0 - V_m) - C(b) (V_0 + V_m)$$

(pour obtenir cette relation on a fixé le zéro du potentiel à mi-chemin entre les potentiels des deux électrodes fixes).

La relation ci-dessus nous permet de déterminer que
 5 la charge totale $Q(b) - Q(a)$ portée par la lame mobile 9
 sera nulle lorsque:

$$V_m = \frac{C_{(a)} - C_{(b)}}{C_{(a)} + C_{(b)}} \cdot V_0$$

10 Les moyens électroniques décrits dans l'article cité
 plus haut fonctionnent en ajustant toujours le potentiel
 V_m de la lame mobile 9 de manière à annuler tout
 écoulement de charges de ou vers celle-ci, et donc à
 maintenir nulle sa charge totale. C'est en vertu de ce
 15 mode particulier de fonctionnement que les dispositifs de
 ce type sont dit "à compensation de charge".

Comme on peut s'en rendre compte d'après les
 relations données plus haut, la tension V_m que les moyens
 électroniques d'un dispositif à compensation de charge
 20 produisent et fournissent en sortie, présente l'avantage
 de dépendre de façon linéaire du déplacement Δd de la lame
 mobile.

En raison des dérives inévitables dans les moyens
 électroniques, le procédé selon lequel fonctionne le
 25 dispositif doit comprendre, peu de temps avant la mesure
 proprement dite, une étape pendant laquelle une tension
 nulle est établie entre la lame mobile 9 et les électrodes
 fixes 3 et 5 de manière à décharger complètement les deux
 condensateurs.

30 Les deux électrodes fixes 3 et 5 peuvent ensuite
 pendant une étape ultérieure du procédé, être mises sous
 tension. Si la lame mobile s'est déplacée depuis l'étape
 de mise sous tension précédente, cette nouvelle mise sous
 tension produit un écoulement de charges à partir de ou
 35 vers la lame mobile et cet écoulement est intégré par les

moyens électroniques pour déterminer la correction qu'il faut apporter au potentiel V_m de la lame mobile 9 pour neutraliser l'écoulement de charges et donc maintenir sensiblement nulle la charge de la lame mobile 9.

- 5 Pour obtenir une mesure quasi-continue de la position de la lame mobile, les moyens électroniques opèrent de façon cyclique, une première étape de mise à zéro de la tension entre les électrodes précédant chaque fois une deuxième étape de mesure et de compensation de la charge. Cette manière de procéder fournit une mesure échantillonnée de l'intensité de la force agissant sur la lame mobile.

- 15 Un tel dispositif présente des défauts. En effet, un tel capteur capacitif comprend toujours, ne serait-ce qu'en raison de la présence de moyens de connexions destinés à relier le capteur aux moyens électroniques, des capacités parasites, qui sont désignées ci-après $C_{p(a)}$ et $C_{p(b)}$ et dont la valeur ne dépend pas sensiblement de la position de la lame mobile 9. La capacité réelle d'un condensateur du capteur capacitif est donc égale à la somme de sa capacité idéale C et de sa capacité parasite C_p , et dans ces conditions, la tension V_m fournie en sortie du dispositif de mesure sera donnée par la relation:

25

$$V_m = \frac{C_{(a)} - C_{(b)} + C_{p(a)} - C_{p(b)}}{C_{(a)} + C_{(b)} + C_{p(a)} + C_{p(b)}}$$

- 30 Comme on peut s'en rendre compte, le potentiel V_m fourni en sortie du dispositif ne dépend plus de façon linéaire du déplacement Δd de la lame mobile 9 hors de sa position d'équilibre et par conséquent le signal V_m n'est plus non plus directement proportionnel à la force mesurée. Ce comportement non linéaire du dispositif complique considérablement l'interprétation des mesures.

Si le capteur capacitif est de construction sensiblement symétrique, les deux capacités parasites $C_p(a)$ et $C_p(b)$ seront sensiblement égales et la tension V_m sera donnée par:

5

$$V_m = \frac{C_{(a)} - C_{(b)}}{C_{(a)} + C_{(b)} + 2 C_p}$$

Cette dernière expression montre que les capacités parasites ont pour effet de faire baisser le gain du dispositif de mesure. Cette dernière caractéristique
10 constitue un deuxième inconvénient qui peut être gênant même dans des applications qui ne nécessitent pas une réponse linéaire du dispositif.

La présente invention a pour but de remédier aux
15 inconvénients de l'art antérieur. A cet effet, elle fournit un dispositif de mesure d'une force, notamment d'une force d'inertie correspondant à une accélération, comprenant,

- un capteur capacitif comportant deux
20 condensateurs, une première armature de chacun desdits condensateurs étant reliée électriquement aux mêmes premiers moyens de connexion, et des deuxièmes armatures desdits condensateurs étant reliées respectivement à des deuxièmes et à des troisièmes moyens de connexion, ladite
25 première armature d'au moins un desdits condensateurs étant en outre formée par une lame mobile suspendue élastiquement et susceptible d'être soumise à ladite force de manière à faire varier la capacité d'au moins un desdits condensateurs, ledit dispositif de mesure
30 comprenant encore,

- des premiers moyens d'alimentation en tension pour dans une première étape amener lesdites deuxièmes armatures au potentiel desdites premières armatures de manière à décharger lesdits condensateurs, et pour dans
35 une deuxième étape porter chacune desdites deuxièmes

armatures à un potentiel différent pour permettre la mesure, ledit dispositif de mesure comprenant encore,

- des moyens de mesure et de compensation de charge pour fournir une tension qui est employée d'une part comme
5 signal de sortie représentatif de ladite force, et qui d'autre part est utilisée pour maintenir lesdites premières armatures à un potentiel tel que le courant circulant par lesdits premiers moyens de connexion durant ladite deuxième étape soit sensiblement nul,

- 10 ledit dispositif de mesure étant caractérisé en ce qu'il comporte encore

- une paire de circuits capacitifs connectés chacun par un premier côté auxdites premières armatures est par un deuxième côté à des deuxième moyens d'alimentation en
15 tension pour pendant ladite première étape porter ledit deuxième côté de chaque circuit capacitif à un potentiel différent pour charger ledit circuit capacitif, et pour pendant ladite deuxième étape amener lesdits deuxième côtés au potentiel desdites premières armatures pour
20 décharger lesdits circuits capacitifs.

- Grâce à ces caractéristiques, l'enchaînement des étapes de charge et de décharge desdits circuits capacitifs se déroule sensiblement à contre-phase, c'est-à-dire en opposition de phase, avec l'enchaînement des
25 étapes de charge et de décharge desdites armatures du capteur. Ainsi, on peut dire que la paire de condensateurs formant le capteur et la paire de circuits capacitifs sont chargés en alternance, de sorte que si les capacités des deux circuits capacitifs sont choisies respectivement
30 égales aux deux capacités parasites du capteur, la quantité de charges libérées au passage de la première étape à la deuxième par la décharge des circuits capacitifs sera égale à la quantité de charges absorbées durant cette même transition pour charger les capacités
35 parasites. La présence des deux circuits capacitifs permet donc de compenser l'effet des capacités parasites et

notamment de supprimer la non-linéarité du dispositif de mesure.

De façon avantageuse le dispositif de mesure selon l'invention est en outre prévu pour permettre de
5 sélectionner la valeur de la capacité desdits circuits capacitifs.

Comme nous l'avons déjà dit plus haut, un des effets des capacités parasites et de faire diminuer le gain du dispositif de mesure. La présence des circuits capacitifs
10 permettant comme on l'a vu de compenser l'effet des capacités parasites, elle permet également d'éliminer la diminution du gain. En choisissant les capacités des deux circuits capacitifs plus grandes que les capacités parasites, on a de plus la possibilité d'augmenter le gain
15 à volonté. Toutefois, si on opte pour cette dernière solution, la réponse du dispositif ne sera plus linéaire.

Finalement en choisissant les capacités des deux circuits capacitifs de valeur inégale, on peut ajuster à volonté le décalage du zéro du dispositif de mesure.

20 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 est un schéma de principe d'un
25 capteur d'accélération capacitif classique;
- la figure 2 est un schéma du circuit électronique d'un mode de réalisation du dispositif de mesure d'une force selon la présente invention;

La figure 2 représente un mode de réalisation du dispositif de mesure d'une force selon l'invention. Ce dispositif désigné généralement par la référence 1 est constitué essentiellement par le circuit électronique du dispositif de mesure d'une force qui est décrit dans l'article de H. Leutold et F. Rudolf dans la revue Sensors and Actuators, A21 - A23 (1990) 278-281, déjà cité dans le préambule de la présente demande. L'ensemble des éléments

constituant ce circuit électronique connu est entouré par un cadre en traits interrompus référencé 11 sur la figure 2. A ce circuit électronique connu en soi, est associée une paire de circuits capacitifs 12a, 12b selon la
5 présente invention. Ces deux circuits capacitifs comprennent notamment chacun deux commutateurs (référéncés respectivement 15a, 17a et 15b, 17b) et un condensateur (référéncé 19a et 19b respectivement).

Le fonctionnement de l'ensemble des éléments du
10 circuit qui sont désignés globalement par la référence 11 ne sera pas décrit en détail puisqu'il est connu. Ces éléments constituent ensemble un circuit électronique à compensation de charge associé à un capteur capacitif 2. La fonction de ce circuit électronique est de maintenir la
15 lame mobile 9 qui constitue une armature de chacun des deux condensateurs du capteur 2, à un potentiel V_m telle que la charge totale portée par la lame mobile soit sensiblement nulle. Ce potentiel V_m est représentatif de la force agissant sur la lame mobile 9 et il est fourni
20 comme signal utile en sortie du circuit électronique 11. Précisons que le circuit électronique ci-dessus fonctionne selon un mode cyclique, chaque cycle ou période de celui-ci se subdivisant essentiellement en une première et deuxième étape. C'est en particulier durant la deuxième
25 étape que le potentiel V_m auquel est maintenu la lame mobile 9 est défini pour le cycle suivant.

L'enchaînement des deux étapes du cycle se déroule essentiellement de la façon suivante : durant la première étape du cycle le potentiel V_m de la lame 9 demeure
30 constant et les deux commutateurs 23a et 23b sont fermés. Dans ces conditions les deux condensateurs du capteur capacitif 2 sont déchargés et leurs armatures se trouvent toutes au potentiel V_m correspondant à la tension en sortie du circuit électronique.

35 Dans la deuxième étape à l'inverse de la première, les interrupteurs 23a et 23b sont ouverts et les

interrupteurs 21a et 21b sont fermés, ce qui a pour effet de placer les armatures extérieures du capteur capacitif respectivement au potentiel V_0 et $-V_0$. Dans ces conditions, les deux condensateurs du capteur capacitif sont soumis respectivement à des tensions de valeur $(V_0 - V_m)$ et $(V_0 + V_m)$. Sous l'effet de ces tensions, les deux condensateurs du capteur capacitif se chargent, le courant de charge circulant à cette occasion entre le circuit électronique 11 et la lame mobile 9 du capteur capacitif 2 est intégré dans un condensateur 27 et entraîne la production par le circuit électronique 11 d'une tension de correction qui a pour effet de définir une nouvelle tension V_m pour le cycle suivant.

Comme nous l'avons déjà dit, le schéma de la figure 2 comprend encore deux circuits capacitifs destinés à compenser l'effet des capacités parasites qui sont présentes dans les capteurs capacitifs connus en général, et dans le capteur capacitif 2 de la figure 2 en particulier.

Les deux condensateurs 19a et 19b des deux circuits capacitifs ont, comme on l'a déjà dit, pour fonction principale de compenser l'effet qu'ont les capacités parasites du capteur sur la détermination du potentiel V_m . Une première armature de chacun de ces condensateurs 19a et 19b est reliée électriquement à la lame mobile 9 du capteur capacitif 2. La deuxième armature d'un premier condensateur 19a est reliée par l'intermédiaire d'un commutateur 15a à une borne d'alimentation positive V_0 , alors que la deuxième armature de l'autre condensateur 9b est reliée par l'intermédiaire d'un commutateur 15b à une borne d'alimentation négative $-V_0$. Finalement une dernière ligne de transmission relie la deuxième armature de chacun des condensateurs 19a et 19b l'un à l'autre par l'intermédiaire des deux commutateurs 17a et 17b.

Conformément à la configuration des connexions qui vient d'être décrite, on voit que la première armature de

chaque condensateur 19a et 19b est maintenue au potentiel V_m tout comme la lame mobile du capteur capacitif 2 auquel elle est reliée. Durant la première étape du cycle, les commutateurs 15a et 15b sont fermés alors que les commutateurs 17a et 17b sont ouverts. Dans ces conditions, le premier condensateur 19a se trouve chargé et soumis à une tension de valeur $(V_o - V_m)$, alors que le deuxième condensateur 19b est également chargé et soumis à une tension de valeur $(V_o + V_m)$. Durant la deuxième étape à l'inverse, les commutateurs 15a et 15b sont ouverts alors que les commutateurs 17a et 17b sont fermés. Dans ces conditions, la deuxième armature de chaque condensateur 19a, 19b se trouve au potentiel V_m et les condensateurs 19a, 19b sont complètement déchargés. De plus le moment auquel les condensateurs 19a et 19b se déchargent correspond au moment où les deux condensateurs du capteur capacitif 2 se chargent.

La somme des charges contenues dans les premières armatures des condensateurs 19a, 19b durant la première étape est donnée par la formule déjà citée dans l'introduction :

$$\Delta Q = Q_{(a)} - Q_{(b)} = C_{c(a)} (V_o - V_m) - C_{c(b)} (V_o + V_m)$$

C'est cette charge ΔQ qui est disponible pour être fournie à la lame mobile 9 lors du passage de la première étape à la deuxième étape. Si les capacités $C_{c(a)}$ et $C_{c(b)}$ des condensateurs 19a et 19b sont égales aux deux capacités parasites $C_{p(a)}$ et $C_{p(b)}$, le circuit capacitif selon l'invention compensera exactement l'effet des deux capacités parasites.

Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, les deux circuits capacitifs 12a et 12b comprendront chacun une pluralité de condensateurs reliés les uns aux autres par l'intermédiaire d'une pluralité de liaisons prévues chacune pour être placées soit dans un état ouvert

soit dans un état fermé. Grâce à cet arrangement, il sera possible de sélectionner la valeur de la capacité de chacun des circuits capacitifs 12a et 12b en plaçant sélectivement certaines liaisons dans leur état ouvert et
5 d'autres dans leur état fermé. Ces types de connexions sont bien connus de l'homme du métier, ils peuvent comprendre un fusible ou un commutateur etc., et ils permettent de réaliser soit des circuits dont la capacité est ajustée une fois pour toute, soit des circuits dont la
10 capacité est réglable par l'utilisateur de l'accéléromètre.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de mesure (1) d'une force et notamment d'une force d'inertie correspondant à une accélération, comprenant,

- un capteur capacitif (2) comportant deux
5 condensateurs, une première armature (9) de chacun desdits condensateurs étant reliée électriquement aux mêmes premiers moyens de connexion, et des deuxièmes armatures (3, 5) desdits condensateurs étant reliées respectivement à des deuxièmes et à des troisièmes moyens de connexion,
10 ladite première armature d'au moins un desdits condensateurs étant en outre formée par une lame mobile (9) suspendue élastiquement et étant susceptible d'être soumise à ladite force (8) de manière à faire varier la capacité ($C_{(a)}$, $C_{(b)}$) d'au moins un desdits condensateurs,
15 ledit dispositif (1) de mesure comprenant encore :

- des premiers moyens d'alimentation en tension pour, dans une première étape, amener lesdites deuxièmes armatures (3, 5) au potentiel (V_m) desdites premières armatures (9) de manière à décharger lesdits
20 condensateurs, et pour, dans une deuxième étape, porter chacune desdites deuxièmes armatures (3, 5) à un potentiel différent (V_o , $-V_o$) pour permettre la mesure, ledit dispositif de mesure (1) comprenant encore

- des moyens de mesure et de compensation de charge
25 (2) pour fournir une tension (V_m) qui d'une part est employée comme signal de sortie représentatif de ladite force, et qui d'autre part est utilisée pour maintenir lesdites premières armatures (9) à un potentiel tel que le courant circulant par lesdits premiers moyens de connexion
30 durant ladite deuxième étape soit sensiblement nul,

ledit dispositif de mesure étant caractérisé en ce qu'il comporte encore

- une paire de circuits capacitifs (12a, 12b) connectés chacun par un premier côté auxdites premières

armatures (9) et par un deuxième côté à des deuxièmes moyens d'alimentation en tension pour pendant ladite première étape porter ledit deuxième côté de chaque circuit capacitif (12a, 12b) à un potentiel différent (V_0 , - V_0) pour charger ledit circuit capacitif, et pour, pendant ladite deuxième étape, amener lesdits deuxièmes côtés au potentiel (V_m) desdites premières armatures pour décharger lesdits circuits capacitifs (12a, 12b).

2. Dispositif de mesure d'une force selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite lame mobile (9) forme à la fois ladite première armature du premier et du deuxième condensateur.

3. Dispositif de mesure d'une force selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est prévu pour permettre de sélectionner la valeur de la capacité ($C_{c(a)}$, $C_{c(b)}$) desdits circuits capacitifs (12a, 12b).

4. Dispositif de mesure d'une force selon la revendication 1, caractérisé en ce que chacun desdits circuits capacitifs (12a, 12b) comporte aux moins un condensateur (19a, 19b).

5. Dispositif de mesure d'une force selon la revendication 1, caractérisé en ce que chacun desdits circuits capacitifs (12a, 12b) comporte une pluralité de condensateurs reliés en parallèle.

6. Dispositif de mesure d'une force selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits premiers moyens d'alimentation en tension comportent des commutateurs (21a, 23a, 21b, 23b) pour pendant ladite première étape relier entre elles lesdites deuxièmes armatures (3, 5), et pendant ladite deuxième étape relier lesdites deuxièmes armatures (3, 5) respectivement à une borne d'alimentation positive (V_0) et à une borne d'alimentation négative (- V_0).

7. Dispositif de mesure d'une force selon la revendication 6, caractérisé en ce que lesdits deuxièmes moyens d'alimentation en tension comportent des

commutateurs (15a, 17a, 15b, 17b) pour, pendant ladite première étape, relier lesdits deuxièmes côtés desdits circuits capacitifs (12a, 12b) respectivement à une borne d'alimentation positive (V_0) et à une borne d'alimentation 5 négative ($-V_0$), et, pendant ladite deuxième étape, relier entre eux lesdits deuxièmes côtés.

Fig.1

